

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 198 23 826 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 11 C 11/14

21 Aktenzeichen: 198 23 826.6  
22 Anmeldetag: 28. 5. 98  
43 Offenlegungstag: 2. 12. 99

DE 198 23 826 A 1

71 Anmelder:  
Hillebrands, Burkhard, Prof. Dr., 67661  
Kaiserslautern, DE  
74 Vertreter:  
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

72 Erfinder:  
Hillebrands, Burkhard, Prof. Dr., 67661  
Kaiserslautern, DE; Stamps, Robert Leon, Dr.,  
Claremount, AU

56 Entgegenhaltungen:  
US 54 48 515  
US 52 76 639

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 MRAM-Speicher sowie Verfahren zum Lesen/Schreiben digitaler Information in einen derartigen Speicher

57 Die Erfindung betrifft eine digitale magnetische Speicherzeleineinrichtung für Lese- und/oder Schreiboperationen mit einer ersten und einer zweiten magnetischen Schicht, deren Magnetisierung zur Speicherung digitaler Informationen zueinander parallel oder antiparallel ausgerichtet ist, wobei wenigstens eine der magnetischen Schichten eine magnetische Anisotropie aufweist; einer Zwischenschicht zwischen erster und zweiter magnetischer Schicht sowie mindestens zwei sich kreuzenden Leiterbahnen zum Leiten von Lese- und Schreibströmen; Mittel zum Umschalten der Magnetisierung mindestens einer der magnetischen Schichten von einer parallelen in eine antiparallele Ausrichtung und umgekehrt. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Umschaltmittel Einrichtungen zum Erzeugen von Strömen und/oder Strompulsen auf einer ersten und einer zweiten Leiterbahn der mindestens zwei sich kreuzenden Leiterbahnen umfassen, wobei das Verhältnis der Stärke der Ströme und/oder Strompulse zueinander derart eingestellt wird, daß das Magnetfeld zum Umschalten der Magnetisierung einen vorbestimmten Winkel  $\theta$  zur leichten Richtung der Magnetisierung der anisotropen Schicht aufweist und die Strompulse eine vorbestimmte Pulsdauer aufweisen, so daß ein vollständiges Umschalten der Magnetisierung in der Speicherzeleineinrichtung von der parallelen in die antiparallele Ausrichtung und umgekehrt erreicht wird.

Durch Optimierung der Pulsdauer kann die Leistungsaufnahme minimiert werden.

DE 198 23 826 A 1

Die Erfindung betrifft eine digitale magnetische Speichereinrichtung für Lese- und/oder Schreiboperationen mit einer ersten und einer zweiten magnetischen Schicht, deren Magnetisierung zur Speicherung digitaler Information zueinander parallel oder antiparallel ausgerichtet ist, wobei wenigstens eine der magnetischen Schichten eine magnetische Anisotropie aufweist gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zum Lesen/Schreiben digitaler Information in eine digitale Speichereinrichtung gemäß Anspruch 9. Des weiteren wird eine digitale Speichereinrichtung umfassend eine Vielzahl von Speicherzeleinrichtungen und ein Verfahren zum Lesen/Schreiben digitaler Information in eine derartige digitale Speichereinrichtung offenbart.

Derzeit werden eine Vielzahl magnetischer Speicher mit wahlfreiem Zugriff (MRAM) entwickelt.

Ein MRAM umfaßt eine Vielzahl von magnetischen Speichereinrichtungen. Jede Speichereinrichtung umfaßt mindestens zwei magnetische Schichten, die durch eine Zwischenschicht getrennt sind. Die beiden magnetischen Schichten können zueinander parallel oder antiparallel magnetisiert sein. Die beiden vorgenannten Zustände stellen jeweils ein Bit von Information dar, d. h. den logischen Null ("0")- oder Eins ("1")-Zustand. Ändert sich die relative Orientierung der Magnetisierung der beiden Schichten von parallel nach antiparallel oder umgekehrt, so ändert sich der Magnetowiderstand typischerweise um einige Prozent. Diese Änderung des Widerstands kann für das Auslesen in der Speicherzele abgelegter digitaler Information verwendet werden. Die Änderung des Zellwiderstandes kann durch eine Spannungsänderung erkannt werden. Beispielsweise kann bei Spannungszunahme die Zelle mit einer logischen Null ("0") und bei einer Spannungsabnahme die Zelle mit einer logischen Eins ("1") belegt werden.

Magnetische Speicherzellen, die den Magnetowiderstandseffekt für die Speicherung digitaler Information verwenden, sind aus einer Vielzahl von Schriften bekannt geworden.

Diesbezüglich wird verwiesen auf:

- EP 0 614 192
- US 5 343 422
- EP 0 685 849
- EP 0 759 619.

Besonders große Widerstandserhöhungen im Bereich von einigen Prozent wurden bei Änderung der Magnetisierungsausrichtung von parallel nach antiparallel und umgekehrt in Zellstrukturen mit einem Riesenmagnetowiderstandseffekt (giant magneto resistance effect) (GMR) oder dem Tunnelmagnetowiderstandseffekt beobachtet. Derartige Zellstrukturen sind beispielsweise aus

- M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich und J. Chazelas "Giant Magnetoresistance of (001) Fe/(001) Cr Magnetic Superlattices", Physical Review Letters, Vol. 61, Nr. 21, S. 2472 ff. sowie
- Teruya Shinjo, Hidefumi Yamamoto "Large Magnetoresistance of Field-Induced Giant Ferrimagnetic Multilayers", Journal of The Physical Society of Japan, Vol. 59, No. 9, S. 3061-3064;
- WO 95/10112
- WO 96/25740
- EP 0759 619 sowie
- DE 197 17 123

bekannt geworden.

Ein wichtiger Vorteil von magnetischen Speicherzellen, wie oben beschrieben, ist darin zu sehen, daß auf diese Art und Weise, beispielsweise gegenüber herkömmlichen Halbleiterspeichern, die Information persistent gespeichert ist, somit nach dem Ausschalten und Wiedereinschalten des Gerätes, in welchem die Speicherzellen verwendet werden, die gespeicherte Information sofort verfügbar ist. Weiterhin werden sehr strahlungsresistente bzw. strahlungsfeste Speichermedien erhalten.

Aus der DE 195 34 856, die in vorliegendem Fall als nächstliegender Stand der Technik angesehen wird, ist eine digitale Speichereinrichtung für Lese- und/oder Schreiboperationen bekannt geworden, die eine erste magnetische Schicht und eine zweite magnetische Schicht aufweist sowie eine dazwischenliegende Trennschicht und Leiterbahnen zum Leiten von Lese und/oder Schreibströmen, wobei eine über die Zeitspanne des fließenden Stroms andauernde Richtungsänderung der Magnetisierung in einer der beiden Schichten bewirkt wird. Der Offenbarungsgehalt der DE 195 34 856 in bezug auf eine digitale Speichervorrichtung gemäß dem Stand der Technik wird in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung vollumfänglich mitaufgenommen.

Nachteilig an der digitalen Speichervorrichtung gemäß der DE 195 34 856 ist, daß die Adressierung der Speicherzele bzw. einzelner Speicherzellen einer Speicherzellenmatrix in einer MRAM-Anordnung alleine durch die Lage der Speicherzele im Kreuzungspunkt zweier stromtragender Zuführungen geschieht. Bei dem Verfahren gemäß dem Stand der Technik addiert sich das Magnetfeld in den Zuführungsleitungen vektorieel im Kreuzungsbereich und ermöglicht hierdurch die Ummagnetisierung in der angesprochenen Speicherzele. Dieses Verfahren ist mit Blick auf die Zeitdauern keinesfalls optimal, insbesondere ergibt sich bei mehreren hintereinandergeschalteten Speicherzellen das Problem, daß die Koerzitivfelder der einzelnen MRAM-Speicherzellen aufgrund von Irregularitäten, beispielsweise

40 Pinning-Zentren, eine gewisse Streuung aufweisen.

Hierdurch ergibt sich, insbesondere bei Zusammenfassung einer Vielzahl solcher aus der DE 195 34 856 bekannten Speichereinrichtungen zu einer Speichereinrichtung, beispielsweise in Matrixform, daß nicht nur die gewünschte Speicherzele im Kreuzungspunkt angesprochen wird, sondern auch benachbarte Zellen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine digitale Speicherzele anzugeben, bei der der Umschaltprozeß sowohl in zeitlicher Hinsicht optimiert ist als auch bezüglich der Auswahl der jeweiligen Zelle, insbesondere bei Zusammenfassung einer Vielzahl von Speicherzellen bzw. Speichereinrichtungen zu einer digitalen Speichereinheit, beispielsweise in Matrixform bzw. einem Array. Des weiteren soll ein Verfahren zum optimierten Umschalten einer derartigen Speichereinrichtung angegeben werden. Weiterhin soll die zum Umschalten erforderliche Leistungsaufnahme und damit die von einem Baustein abzuführende Verlustwärme minimiert werden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß bei einer digitalen magnetischen Speichereinrichtung gemäß Anspruch 1 die Umschaltmittel Einrichtungen zum Erzeugen von Strömen und/oder Strompulsen auf einer ersten und einer zweiten Leiterbahn von mindestens zwei sich kreuzenden Leiterbahnen umfassen, wobei das Verhältnis der Stärke der Ströme und/oder Strompulse zueinander derart eingestellt wird, daß das Magnetfeld zum Umschalten der Magnetisierung einen vorbestimmten Winkel  $\theta$  zur leichten Richtung der Magnetisierung der anisotropen

Schicht aufweist und die Strompulse eine vorbestimmte Zeitdauer aufweisen, so daß ein vollständiges Umschalten der Magnetisierung beispielsweise aus einer parallelen in eine antiparallele Ausrichtung erreicht wird.

Durch entsprechende Auswahl des Winkels  $\theta$  mit Hilfe des Verhältnisses der Ströme in den beiden stromtragenden Leitungen sowie der Pulsdauern kann die Umschaltzeit in einer derartigen Speicherzelle deutlich verringert werden. Mit der Erfindung ist ein schnelles Schalten bei geringen Strömen und kurzen Pulsdauern möglich. So beträgt die Umschaltzeit bevorzugt weniger als 100 ns insbesondere weniger als 20 ns.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Pulsdauern so gewählt, daß das vollständige Umschalten gleichzeitig bei minimaler Leistungsaufnahme erreicht wird.

In einer ersten Ausführungsform der Erfindung werden auf den Leitungen unipolare Pulse angelegt mit einer vorbestimmten Pulsdauer.

In einer zweiten verbesserten Ausführungsform werden anstelle unipolarer Pulse auf beiden Leitungen auf einer Leitung dipolare Pulse angelegt und auf der anderen Leiterbahn ein statischer Strom oder Strompuls. Der dipolare Puls ist in der Länge der ersten Halbwelle genau auf die Umschaltzeit der Speicherzeleinrichtung abgestimmt und koppelt resonant an das Umschalten der Magnetisierung an. Er liegt auf der Schreibleitung an, in der ein Magnetfeld senkrecht zur leichten Richtung der Magnetisierung in der umzuschaltenden Schicht erzeugt wird. Auf der anderen Leiterbahn liegt ein statischer Strom oder ein Strompuls, dessen Länge größer als die Halbwellenzeit des dipolaren Pulses ist, an. Dieser erzeugt ein zum Umschaltfeld senkrecht Magnetfeld.

In einer besonders einfachen Konfiguration sind die Leiterbahnen derart angeordnet, daß sie in der Speicherzeleinrichtung senkrecht zueinander stehen, d. h. sich unter einem rechten Winkel kreuzen.

Bevorzugt wird die magnetische Anisotropie der Schichten, die Grund für das Ausbilden einer Richtung der leichten Magnetisierung ist, mit Hilfe von Wachstumsprozessen oder einer Formanisotropie, beispielsweise einer ellipsenförmigen Umrandung der Schichten, erhalten. Besonders bevorzugt ist es, wenn die Magnetisierung nur in einer Schicht umgeschaltet werden muß, während sie in der anderen Schicht auch bei Schaltimpulsen beibehalten wird. Ein derartiges Verhalten erreicht man dadurch, daß in einer weitergebildeten Ausführungsform der Erfindung die eine der beiden magnetischen Schichten magnetisch härter als die andere ist, beispielsweise dadurch, daß die eine der Schichten eine größere Dicke als die andere aufweist oder eine der Schichten Kontakt zu einer antiferromagnetischen Schicht hat.

Neben der zuvor beschriebenen Speicherzeleinrichtung, stellt die Erfindung auch ein Verfahren zum Lesen/Schreiben digitaler Information in eine derartige Speicherzeleinrichtung zur Verfügung. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß auf den beiden Leiterbahnen Ströme und/oder Strompulse angelegt werden, so daß im Kreuzungsbereich der Leiterbahnen ein Magnetfeld unter einem Winkel  $\theta$  gegenüber der Richtung der leichten Magnetisierung aufgebaut wird, wodurch die relative Orientierung der Magnetisierung geändert wird. Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Stromstärke der Strompulse und/oder Ströme zueinander so eingestellt wird, daß das Magnetfeld unter einem vorbestimmten Winkel  $\theta$  gegenüber der leichten Magnetisierung anliegt und die Pulsdauer der Strompulse bzw. Ströme derart eingestellt wird, daß ein vollständiges Umschalten der Magnetisierung in den Speicherzel-

leneinrichtungen erreicht wird. Es werden Schaltpunkte mit weniger als 100 ns Schaltdauer bevorzugt.

In einer ersten Ausführungsform der Erfindung können die Strompulse unipolare Strompulse sein. In einer zweiten weitergebildeten Ausführungsform ist der Strompuls, der auf der Leiterbahn anliegt, bei der der Stromfluß ein Magnetfeld senkrecht zur Richtung der leichten Magnetisierung erzeugt, ein bipolarer Strompuls, und auf der anderen Leiterbahn liegt ein Strom bzw. Strompuls vorzugsweise mit einer Zeitdauer, die größer als die Halbwelldauer des bipolaren Strompulses ist, an. Die Halbwelldauer beträgt bevorzugt weniger als 100 ns.

Die erfindungsgemäße Speicherzeleinrichtung ist in einer vorteilhaften Ausführungsform Teil einer digitalen Speichereinrichtung mit einer Vielzahl derartiger Speicherzeleinrichtungen. Jede der Speicherzeleinrichtungen weist mindestens zwei sich kreuzende Leiterbahnen auf. Bevorzugt können die Speicherzeleinrichtungen als Array in Matrixform angelegt sein.

In einer Ausführungsform der Erfindung sind einer Mehrzahl von in Reihen oder Spalten angeordneten Leiterbahnen gemeinsame Umschaltmittel zugeordnet.

In einer besonders einfachen Ausführungsform kann die magnetisch härtere Schicht der einzelnen Speicherzeleinrichtungen sich über mehrere Zellen hinweg erstrecken.

Bei einer derartigen digitalen Speichereinrichtung kann das erfindungsgemäße Verfahren zum Ummagnetisieren einer Speicherzeleinrichtung mit besonderem Vorteil angewandt werden. Insbesondere ermöglicht ein derartiges Verfahren eine exakte Adressierung der einzelnen Speicherzellen der Matrix aufgrund einer Selektion derjenigen Speicherzelle über eine Zeitskala, bei der der Feldpuls unter dem Winkel  $\theta$  anliegt, was genau im Kreuzungsbereich zwei sich kreuzender stromtragender Leitungen der Fall ist. Die Ummagnetisierung erfolgt dann durch eine Rotation der Magnetisierung aus der antiparallelen in die parallele Ausrichtung bzw. Orientierung oder umgekehrt. Da mit dem erfindungsgemäßen Verfahren aufgrund der Pulsdauer und der Stromstärke nur die im Kreuzungsbereich der stromführenden Leitungen liegenden Zellen ausgewählt werden, erfolgt das Umschalten ohne Beeinflussung benachbarter Zellen; d. h. diese behalten ihre Magnetisierung trotz der Schaltpulse bei.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren und Ausführungsbeispiele näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1a einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Speicherzeleinrichtung;

Fig. 1b eine Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Speicherzeleinrichtung;

Fig. 2 ein Array aus Speicherzeleinrichtung gemäß Fig. 1;

Fig. 3 einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Speicherzelle mit Angabe eines Koordinatensystems;

Fig. 4a, 4b Verlauf der Magnetisierung in den unterschiedlichen Koordinatenachsen bei Anlegen von unipolaren Pulsen unterschiedlicher Stromstärke ergebend einen unterschiedlichen Winkel  $\theta$ ;

Fig. 5a, 5b Verlauf der Magnetisierung bei fest vorliegendem Winkel  $\theta$  und unterschiedlichen Zeitdauern der unipolaren Pulse;

Fig. 6a, 6b Verlauf der Magnetisierung in zu der angesprochenen Speicherzelle mit kreuzenden Leitungen benachbarten Speicherzellen.

Fig. 1 zeigt in einem Schnitt (Fig. 1a) und in einer Draufsicht (Fig. 1b) eine erfindungsgemäße digitale Speicherzeleinrichtung.

Die erfindungsgemäße digitale Speicherzeleinrichtung

umfaßt eine erste magnetische Schicht 3 sowie eine zweite magnetische Schicht 5 mit dazwischenliegender nichtmagnetischer Trennschicht 7. Bei der ersten magnetischen Schicht sowie bei der zweiten magnetischen Schicht handelt es sich im wesentlichen um eine permanent- bzw. ferromagnetische Schicht. Ein bevorzugter Schichtaufbau sind beispielsweise Co-Cu-Co- oder Fe-Cr-Fe- oder Fe-Cr-Fe- oder NiFe-Cu-NiFe-Schichtsysteme umfassend die erste magnetische Schicht 3, die nichtmagnetische Zwischenschicht 7 sowie die zweite magnetische Schicht 5.

Diesbezüglich wird beispielsweise auf die vorgenannten Veröffentlichung DE 195 34 856 verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung miteingeschlossen wird.

Die beiden permanent- bzw. ferromagnetischen Schichten 3, 5 sind nur einige nm dick, ebenso die nichtmagnetische Zwischenschicht 7. Vorzugsweise hat die zweite ferromagnetische Schicht 5 einen elliptischen Querschnitt, wohingegen die untere erste ferromagnetische Schicht 3 einen rechteckigen Querschnitt aufweist oder als nichtstrukturierte durchgehende Schicht allen Speicherzellen gemeinsam ist. Die magnetisch härtere Schicht 3 könnte in einer alternativen Ausführungsform auch oben angeordnet sein; die magnetisch weichere unten. Aufgrund der durch die elliptische Form aufgeprägten magnetischen Formanisotropie zeigt die Magnetisierung der elliptisch geformten zweiten magnetisch weicheren Schicht 5 in Richtung der langen Achse der Ellipse; d. h. die beiden Magnetisierungen können parallel oder antiparallel zueinander stehen. Die Schichtdicke der Zwischenschicht 7 ermöglicht die Einstellung einer vorbestimmten Kopplung zwischen den beiden magnetischen Schichten 3, 5, wovon in vorliegendem Ausführungsbeispiel eine magnetisch härter als die andere ausgebildet ist, ohne daß dies zwingend für die Erfindung notwendig wäre.

Durch entsprechende Schichtdicke kann man eine sehr geringe Kopplung zwischen den magnetischen Schichten erreichen, so daß die Anisotropie der Speicherzelle im wesentlichen durch die zweite Schicht 5 bestimmt wird.

Besonders bevorzugt ist es, durch geeignete Maßnahmen dafür zu sorgen, daß die Magnetisierung in der ersten Schicht die einmal eingenommene Richtung nicht mehr ändert, so daß die parallele bzw. antiparallele Einstellung der Magnetisierung der beiden Schichten zueinander alleine durch die Ausrichtung der Magnetisierung in der ersten Schicht bestimmt wird.

Die erste Schicht 3 ist somit magnetisch härter als die zweite Schicht 5.

Die wirkungsvollste Maßnahme, die eine der beiden Schichten magnetisch härter als die andere auszubilden, besteht darin, die Schichtdicken der magnetischen Schichten unterschiedlich auszubilden. Beträgt die Schichtdicke der ersten unteren Schicht etwa 10 nm und die der zweiten oberen Schicht beispielsweise nur 1 bis 2 nm, so ist die Koerzitivfeldstärke der ersten Schicht merklich kleiner als die der zweiten Schicht, womit die Magnetisierung in der zweiten Schicht als unveränderbar bzw. eingefroren angesehen werden kann.

Über der obersten zweiten Schicht sind zwei Leiterbahnen 9, 11 ausgebildet, die durch eine Isolierschicht 13 voneinander getrennt werden. Die beiden Leiterbahnen 9, 11 sind vorliegend, ohne Beschränkung hierauf, unter einem Winkel von 90° zueinander angeordnet und kreuzen sich, wie aus Fig. 1b hervorgeht, in Punkt K. Jede der beiden Leiterbahnen 9, 11 ist an eine Einrichtung zum Erzeugen von Strömen bzw. Strompulsen angeschlossen. So ist die Stromerzeugungseinrichtung 20 mit der Leiterbahn 11 und die Stromerzeugungseinrichtung 22 mit der Leiterbahn 9 über

Zuleitungen 24, 26 verbunden.

Durch einen Strom bzw. Strompuls durch die Leiterbahn 9 kann ein Magnetfeld senkrecht zur Richtung der leichten Magnetisierung und durch einen Strom bzw. Strompuls durch die Leiterbahn 11 ein Magnetfeld parallel zur Richtung der leichten Magnetisierung aufgebaut werden.

In Fig. 2 ist eine digitale Speichereinrichtung aus einer Vielzahl von Speicherzellen gemäß Fig. 1 dargestellt. Die einzelnen Speicherzellen sind in Form eines Arrays aufgebaut. Das Array umfaßt eine Vielzahl erster Zuleitungen 11.1, 11.2, 11.3 sowie eine Vielzahl zweiter Zuleitungen 9.1, 9.2 und 9.3, die auf jeder der ersten Zuleitungen senkrecht stehen. Erste und zweite Zuleitungen kreuzen sich jeweils im Bereich einer Speicherzeleleinrichtung. Gleiche Komponenten wie in Fig. 1 für eine Speicherzeleleinrichtung sind auch in Fig. 2 mit denselben Bezugsziffern belegt.

Jede einzelne der ersten Schreibleitungen 11.1, 11.2 und 11.3 sind über die Strompulsleinrichtung 30 ansteuerbar, jede der Zuleitungen 9.1, 9.2 und 9.3 über die Strompulsleinrichtung 32. Die Strompulsleinrichtungen 30, 32 können wiederum mit einem Mikroprozessor bzw. einer Zentraleinheit oder CPU verbunden sein. Wesentlicher Gedanke der vorliegenden Erfindung ist es, mit Hilfe der Mittel zur Erzeugung von Strompulsen das Umschaltverhalten einer einzigen Speicherzeleleinrichtung, wie in Fig. 1 dargestellt, bzw. einer ganzen digitalen Speichereinrichtung, wie ausschnittsweise in Fig. 2 dargestellt, durch Optimierung der Zeitstruktur und der Stärke der Strompulse auf den beiden Schreibleitungen zu optimieren. Im Gegensatz zum erfindungsgemäßen Verfahren wird in konventionellen MRAM-Speicheranordnungen die Adressierung der einzelnen Speicherzeleleinrichtungen alleine durch die Lage der Speicherzelle im Kreuzungspunkt der stromtragenden Zuführungen 9, 11 bestimmt. Das Magnetfeld der Zuführungen addiert sich in Kreuzungspunkt K und ermöglicht hier die Ummagnetisierung. Problematisch an diesem Verfahren ist, daß die Koerzitivfelder der einzelnen Speicherzeleleinrichtungen aufgrund von Irregularitäten eine gewisse Streuung erfahren, weswegen das Ansprechen nur einer einzigen Zelle mittels Strompulsen auf den Schreibleitungen nur sehr schwer zu verwirklichen ist.

Das Umschaltverhalten mittels der erfindungsgemäßen Strompulse soll nachfolgend anhand der Fig. 3 bis 6 verdeutlicht werden.

Fig. 3 zeigt die in den Fig. 4 bis 6 verwendeten Parameter anhand eines Schnittbildes durch eine Speicherzeleleinrichtung.

Die Speicherzeleleinrichtung umfaßt wiederum eine erste magnetische Schicht 3 sowie eine elliptische zweite magnetische Schicht 5. Die Richtung der leichten Magnetisierung der anisotropen zweiten magnetischen Schicht verläuft entlang der Ellipsenlängsachse mithin in dem eingezeichneten Koordinatensystem entlang der X-Achse  $H(t)$ .

Die Richtung senkrecht zur leichten Richtung der Magnetisierung wird durch die Y-Achse repräsentiert, die senkrecht auf die gesamte Speicherzelle durch die Z-Richtung.

Durch die Strompulse auf den Schreibleitungen 9, 11 wird das in Fig. 3 angegebene Magnetfeld  $H(t)$  erzeugt, das sich aus einer Komponente parallel zur leichten Richtung der Magnetisierung  $H_p(t)$  und einer Komponente senkrecht zur leichten Richtung der Magnetisierung  $H_s(t)$  zusammensetzt.

Das resultierende Magnetfeld  $H(t)$  weist einen Winkel  $\theta$  zwischen Magnetfeld und leichter Richtung der Magnetisierung auf.

Durch das zeitabhängige Magnetfeld ergibt sich ein zeitabhängiger Verlauf der Magnetisierung  $M(t)$ , die sich wiederum in Komponenten  $M_x(t)$ ,  $M_y(t)$ ,  $M_z(t)$  aufspalten läßt.

In Fig. 4 ist der Verlauf der Magnetisierung aufgespaltert

in die drei Komponenten  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  in Abhängigkeit vom Winkel  $\theta$ , dem das angelegte Feld  $H(t)$  mit der leichten Richtung der Magnetisierung einschließt, dargestellt. Wie deutlich zu erkennen, ist das Umschalten von einer ersten, beispielsweise parallelen Ausrichtung der Magnetisierung mit dem normierten Wert 1 zu einer antiparallelen Ausrichtung der Magnetisierung mit einem normierten Wert  $-1$  jeweils in der X-Komponente der Magnetisierung bei einem Winkel von  $\theta = 135^\circ$  wesentlich schneller erreicht als bei einem Winkel von  $158^\circ$ .

Die Zeitdauer der Pulse betrug im ersten Fall für die Richtung parallel und senkrecht zur leichten Richtung der Magnetisierung 12,4 ns, die Feldstärke  $H_p -0,005$ , d. h.  $-0,5\%$  der Sättigungsmagnetisierung der weichen Schicht, und die Feldstärke  $H_s 0,002$ , d. h.  $0,2\%$  der Sättigungsmagnetisierung der weichen Schicht.

Im in Fig. 4b dargestellten Beispiel betrug die Feldstärke  $H_p -0,005$  und die Feldstärke  $H_s 0,005$  ergebend einen Winkel  $\theta$  von  $135^\circ$ . Die Pulsdauer der unipolaren Pulse betrug sowohl parallel als auch senkrecht zur leichten Richtung der Magnetisierung 5 ns. Deutlich zu erkennen ist das fast doppelt so schnelle Umschalten der Speicherzelle bei einem Winkel von  $\theta = 135^\circ$  anstelle von  $\theta = 158^\circ$ .

In Fig. 5 wurde der Winkel  $\theta = 158^\circ$  aufgrund des Verhältnisses der Stromstärken der Magnetfelder parallel und senkrecht zur leichten Magnetisierung festgehalten. Die Magnetfeldstärke  $H_p$  betrug  $-0,005$  und die Magnetfeldstärke  $H_s = 0,002$ .

Gemäß Fig. 5a betrug die Pulsdauer der unipolaren Pulse sowohl senkrecht als auch parallel zur leichten Richtung der Magnetisierung 6,2 ns. Wie deutlich zu erkennen, reicht diese Pulsdauer nicht aus, um die Magnetisierung  $M_x$  aus dem parallelen Zustand 1 in den antiparallelen Zustand  $-1$  umzuschalten. Hierfür ist eine wesentlich längere Zeitdauer, wie in Fig. 5b dargestellt, nötig. Ein Umschalten wird erreicht, wenn die Pulsdauer, wie in Fig. 5b dargestellt, sowohl für die Richtung senkrecht wie parallel zur leichten Richtung der Magnetisierung 12,4 ns beträgt.

Wie hieraus deutlich zu erkennen, kann bei vorgegebenen Winkel  $\theta$  eine Auswahl bzw. Adressierung einzelner Speicherbereiche allein dadurch erreicht werden, daß Pulsdauern entsprechend gewählt werden.

Wie aus Fig. 6a und 6b hervorgeht, werden nur diejenigen Speicherzellen durch das erfindungsgemäße Verfahren angesprochen, in dem sich die stromführenden Leitungen kreuzen. Benachbarte Speicherzellen, durch die zwar ein Strom durch eine der Leitungen geführt wird, bleiben unbeeinflusst, da dort die Parameterkombination aus Feld, Feldrichtung und Zeit die Ummagnetisierung möglich macht. In Fig. 6a beträgt der Winkel  $\theta = 180^\circ$ , d. h. es liegt ein Magnetfeld nur parallel zur leichten Richtung der Magnetisierung an, d. h.  $H_p = -0,005$ ,  $H_s = 0$ . Ein Impuls von  $T_s = T_p = 5$  ns hat auf die Komponenten  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  keinerlei Einfluß.

In Fig. 6b ist der Verlauf der Magnetisierung  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  für einen Strompuls, der ein Magnetfeld senkrecht zur leichten Richtung der Magnetisierung aufbaut, bei dem also  $\theta = 90^\circ$  ist, dargestellt. Die Pulsdauer beträgt  $T_s = T_p = 5$  ns,  $H_p = 0$ ,  $H_s = 0,005$ . Nach einer gewissen Zeitdauer von 25 ns sind auch dort die Magnetisierungen im Zeitpunkt vor Auftreten des Strompulses wieder erreicht. Ein Umschalten der  $M_x$ -Komponente wie in dem Bereich, in dem sich die stromführenden Leitungen kreuzen, findet nicht statt. Sämtliche zuvor gegebenen Feldangaben beziehen sich auf die Sättigungsmagnetisierung der weichen Schicht 5, wobei beispielsweise  $-0,005 -0,5\%$  und  $0,002 0,2\%$  der Sättigungsmagnetisierung der weichen Schicht 5 bedeutet.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird somit erstmals ein Verfahren angegeben, mit dem aufgrund einzelner

Strompulse und geeigneter Wahl derselben im Verhältnis der Stromstärke sowie der Pulsdauer magnetische Speicherzellen zuverlässig und ohne Beeinflussung benachbarter Zellen in einem digitalen magnetischen Speicherarray angesprochen werden können. Hierbei werden schnelle Umschaltzeiten von weniger als 100 ns, bevorzugt weniger als 20 ns, realisiert, bei sehr niedrigen Stromsätzen. Gleichzeitig kann in einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung die Dauer der Strompulse so gewählt werden, daß die zum Umschalten erforderliche Leistungsaufnahme minimiert wird.

#### Patentansprüche

##### 1. Digitale magnetische Speicherzeleleinrichtung für Lese- und/oder Schreiboperationen mit

1.1 einer ersten und einer zweiten magnetischen Schicht (3, 5), deren Magnetisierung zur Speicherung digitaler Informationen zueinander parallel oder antiparallel ausgerichtet ist, wobei wenigstens eine der magnetischen Schichten eine magnetische Anisotropie aufweist;

1.2 einer Zwischenschicht (7) zwischen erster und zweiter magnetischer Schicht sowie

1.3 mindestens zwei sich kreuzenden Leiterbahnen (9, 11) zum Leiten von Lese- und Schreibströmen;

1.4 Mittel zum Umschalten der Magnetisierung mindestens einer der magnetischen Schichten von einer parallelen in eine antiparallele Ausrichtung und umgekehrt;

**dadurch gekennzeichnet, daß**

1.5 die Einrichtungsmittel Einrichtungen (20, 22) zum Erzeugen von Strömen und/oder Strompulsen auf einer ersten und einer zweiten Leiterbahn der mindestens zwei sich kreuzenden Leiterbahnen umfassen, wobei das Verhältnis der Stärke der Ströme und/oder Strompulse zueinander derart eingestellt wird, daß

1.6 das Magnetfeld zum Umschalten der Magnetisierung einen vorbestimmten Winkel  $\theta$  zur leichten Richtung der Magnetisierung der anisotropen Schicht aufweist und

1.7 die Strompulse eine vorbestimmte Pulsdauer aufweisen, so daß ein vollständiges Umschalten der Magnetisierung in der Speicherzeleleinrichtung von der parallelen in die antiparallele Ausrichtung und umgekehrt erreicht wird.

2. Digitale Speicherzeleleinrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsdauer der Strompulse zum Umschalten maximal 100 ns beträgt.

3. Digitale Speicherzeleleinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Umschaltzeit von der parallelen in die antiparallele Ausrichtung und umgekehrt maximal 100 ns beträgt.

4. Digitale Speicherzeleleinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Strompulse unipolare Pulse sind.

5. Digitale Speicherzeleleinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Leiterbahn, auf der der Strompuls ein Magnetfeld senkrecht zur leichten Magnetisierung erzeugt, ein dipolarer Puls anliegt und auf der anderen Leiterbahn ein statischer Strom oder ein Strompuls.

6. Digitale Speicherzeleleinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Leiterbahnen senkrecht zueinander stehen.

7. Digitale Speicherzeleinrichtung gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die anisotrope erste magnetische Schicht eine uniaxiale magnetische Anisotropie aufgrund eines Wachstumsprozesses und/oder einer Formanisotropie aufweist.

8. Digitale Speicherzeleinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine der beiden magnetischen Schichten magnetisch härter als die andere magnetische Schicht ist.

9. Verfahren zum Lesen/Schreiben digitaler Information in eine digitale Speicherzeleinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, durch Ändern der relativen Orientierung der Magnetisierung in einer der beiden magnetischen Schichten zueinander umfassend die nachfolgenden Schritte:

9.1 es werden auf den mindestens zwei sich kreuzenden Leiterbahnen Ströme und/oder Strompulse angelegt;

9.2 im Kreuzungsbereich der Leiterbahnen wird ein Magnetfeld unter einem Winkel  $\theta$  gegenüber der Richtung der leichten Magnetisierung aufgebaut, wodurch die relative Orientierung der Magnetisierung geändert wird; dadurch gekennzeichnet, daß

9.3 das Verhältnis der Stromstärke der Strompulse bzw. Strompulses und/oder Ströme zueinander so eingestellt wird, daß das Magnetfeld unter einem vorbestimmten Winkel  $\theta$  gegenüber der leichten Magnetisierung anliegt und

9.4 die Pulsdauer der Strompulse bzw. des Strompulses derart eingestellt wird, daß ein vollständiges Umschalten der Magnetisierung in der Speicherzeleinrichtung von der parallelen in die antiparallele Ausrichtung und umgekehrt erreicht wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsdauer der Strompulse zum Umschalten maximal 100 ns beträgt.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Umschaltzeit von der parallelen in die antiparallele Ausrichtung und umgekehrt maximal 100 ns beträgt.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Strompulse unipolare Pulse sind.

13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Strompuls auf der Leiterbahn, bei der der Stromfluß ein Magnetfeld senkrecht zur leichten Magnetisierung erzeugt, ein bipolarer Strompuls ist und auf der anderen Leiterbahn ein statischer Strom oder Strompuls anliegt.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer des Strompulses auf der anderen Leiterbahn größer ist als die Halbwelldauer des bipolaren Strompulses auf der Leiterbahn, bei der der Stromfluß ein Magnetfeld senkrecht zur Richtung der leichten Magnetisierung erzeugt.

15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9-14, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsdauer der Strompulse des weiteren derart gewählt wird, daß ein vollständiges Umschalten bei gleichzeitig minimaler Leistungsaufnahme erreicht wird.

16. Digitale Speichereinrichtung umfassend eine Vielzahl von Speicherzeleinrichtungen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß sich im Bereich jeder Speicherzeleinrichtung mindestens zwei Leiterbahnen kreuzen.

17. Digitale Speichereinrichtung gemäß Anspruch 16,

dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Stärke der Ströme und/oder Strompulse, ergebend den Winkel  $\theta$ , und die Dauer der Strompulse derart gewählt werden, daß ein vollständiges Umschalten der Magnetisierung in einer einzigen vorgegebenen Speicherzeleinrichtung ohne Beeinflussung des Zustandes der Nachbarzellen erfolgt.

18. Digitale Speichereinrichtung gemäß einem der Ansprüche 16 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der Strompulse des weiteren derart gewählt wird, daß ein vollständiges Umschalten bei gleichzeitig minimaler Leistungsaufnahme erreicht wird.

19. Digitale Speichereinrichtung gemäß Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Vielzahl von Speicherzeleinrichtungen in Matrixform angeordnet sind.

20. Digitale Speichereinrichtung gemäß Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß einer Mehrzahl von in Reihe und/oder Spalten angeordneten Leiterbahnen von in Matrixform angelegten Speicherzeleinrichtungen gemeinsame Umschaltmittel zugeordnet sind.

21. Digitale Speichereinrichtung gemäß einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetisch härtere Schicht eine über mehrere Speicherzellen durchgehende Schicht ist.

22. Verfahren zum Lesen/Schreiben digitaler Information in eine digitale Speichereinrichtung gemäß einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 9 bis 14 die Speicherzeleinrichtung aus der Vielzahl von Speicherzeleinrichtungen, in der sich die Leiterbahnen kreuzen, auf denen die Ströme und/oder Strompulse anliegen, ausgewählt wird und durch Ändern der relativen Orientierung der Magnetisierung in einer der beiden Schichten dieser Speicherzeleinrichtung digitaler Informationen in diese geschrieben oder ausgelesen werden, ohne daß hierdurch benachbarte Zellen beeinflusst werden.

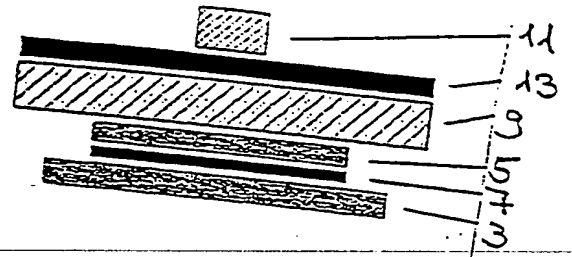
---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

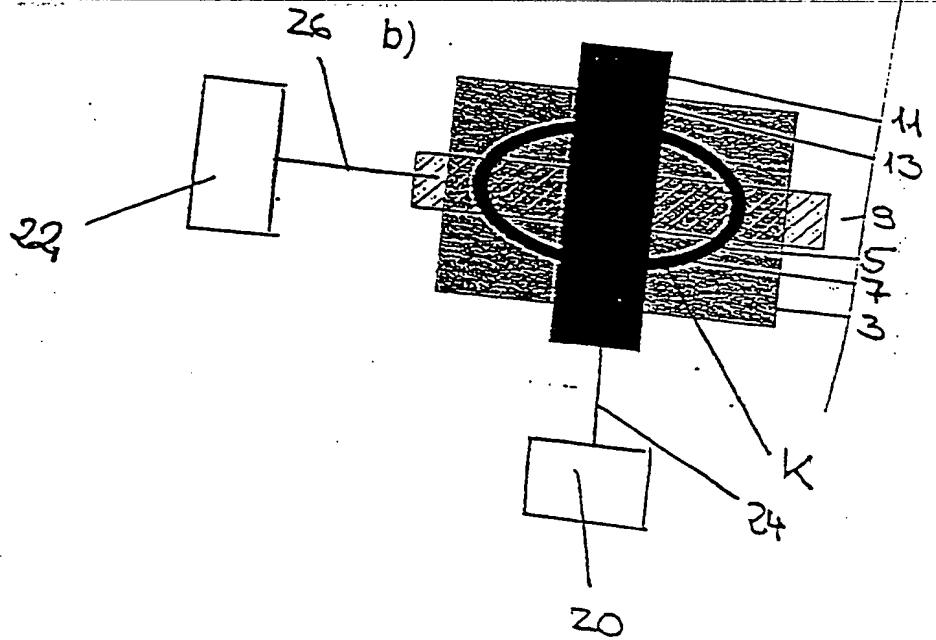
---

Fig. 1

a)



b)



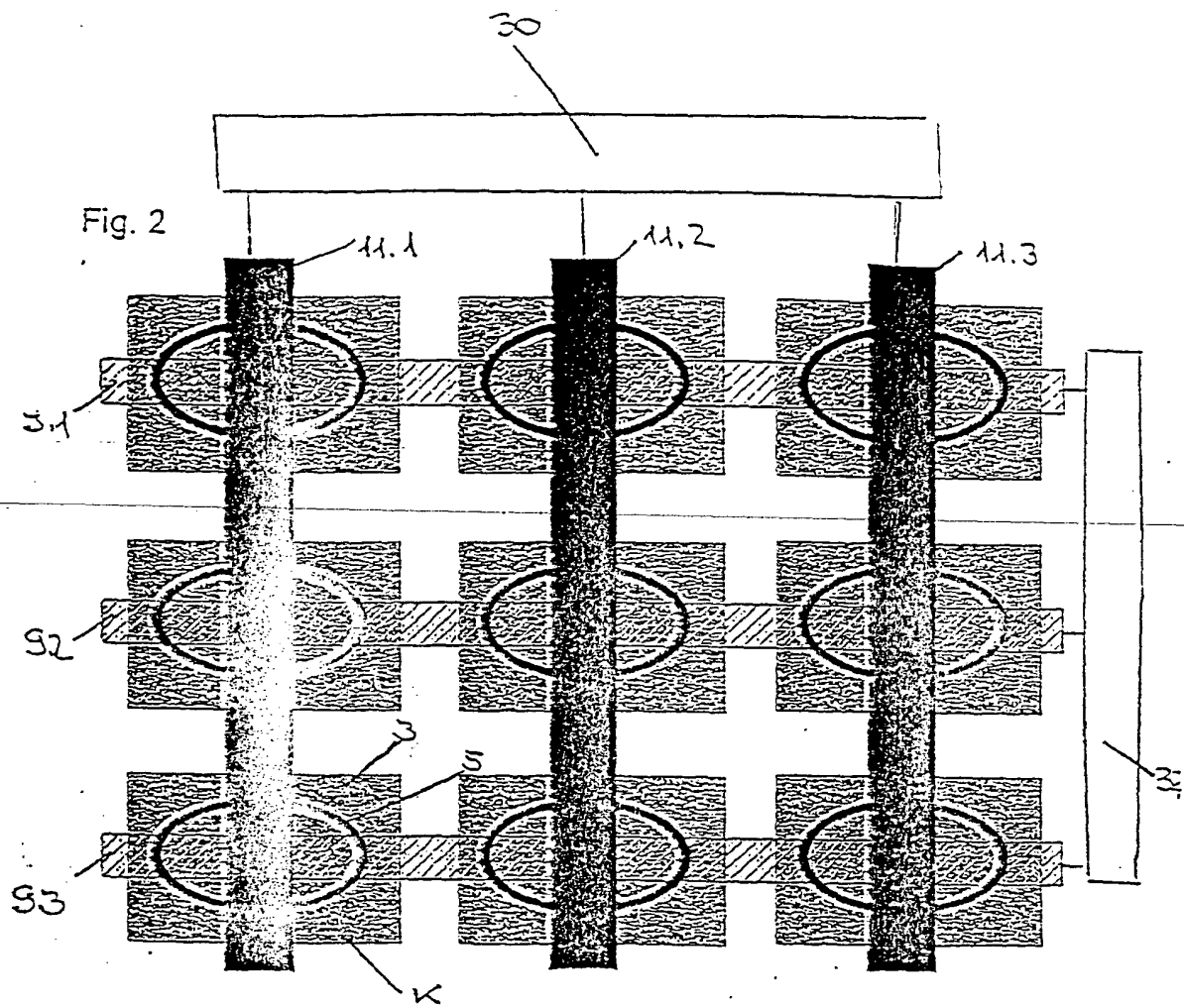
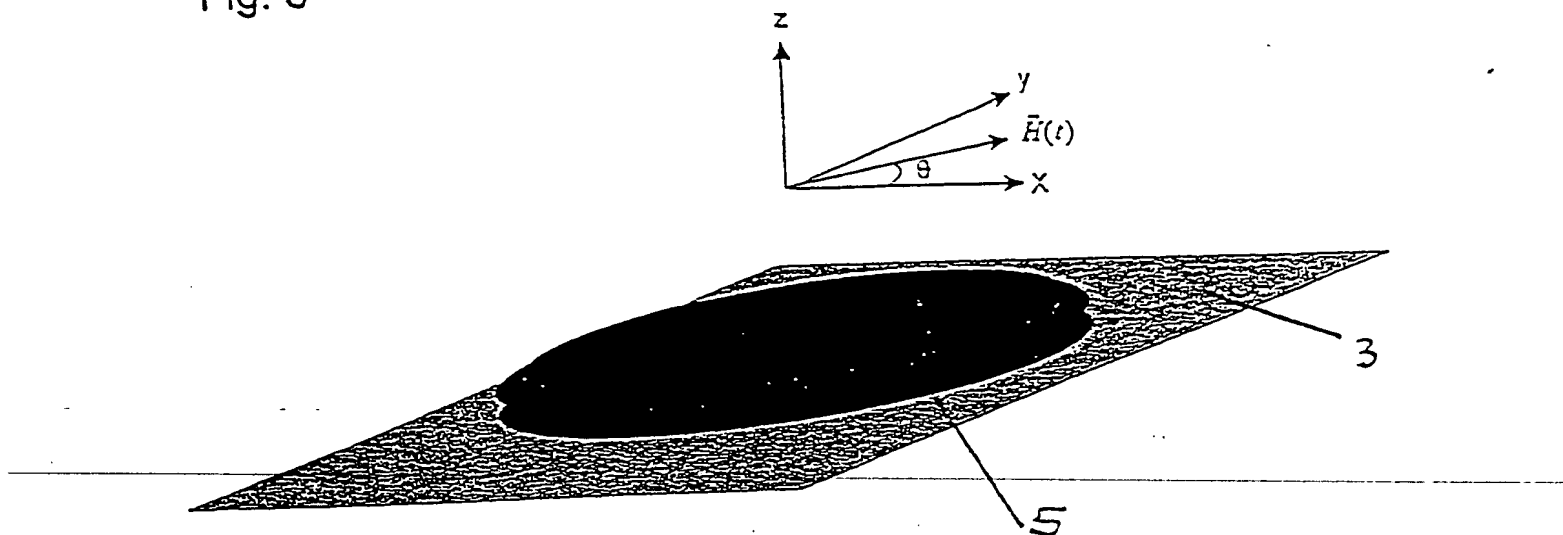




Fig. 3



$$\vec{H}(t) = \begin{pmatrix} H_x(t) \\ H_y(t) \\ H_z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_p(t) \\ H_S(t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{M}(t) = \begin{pmatrix} M_x(t) \\ M_y(t) \\ M_z(t) \end{pmatrix}$$

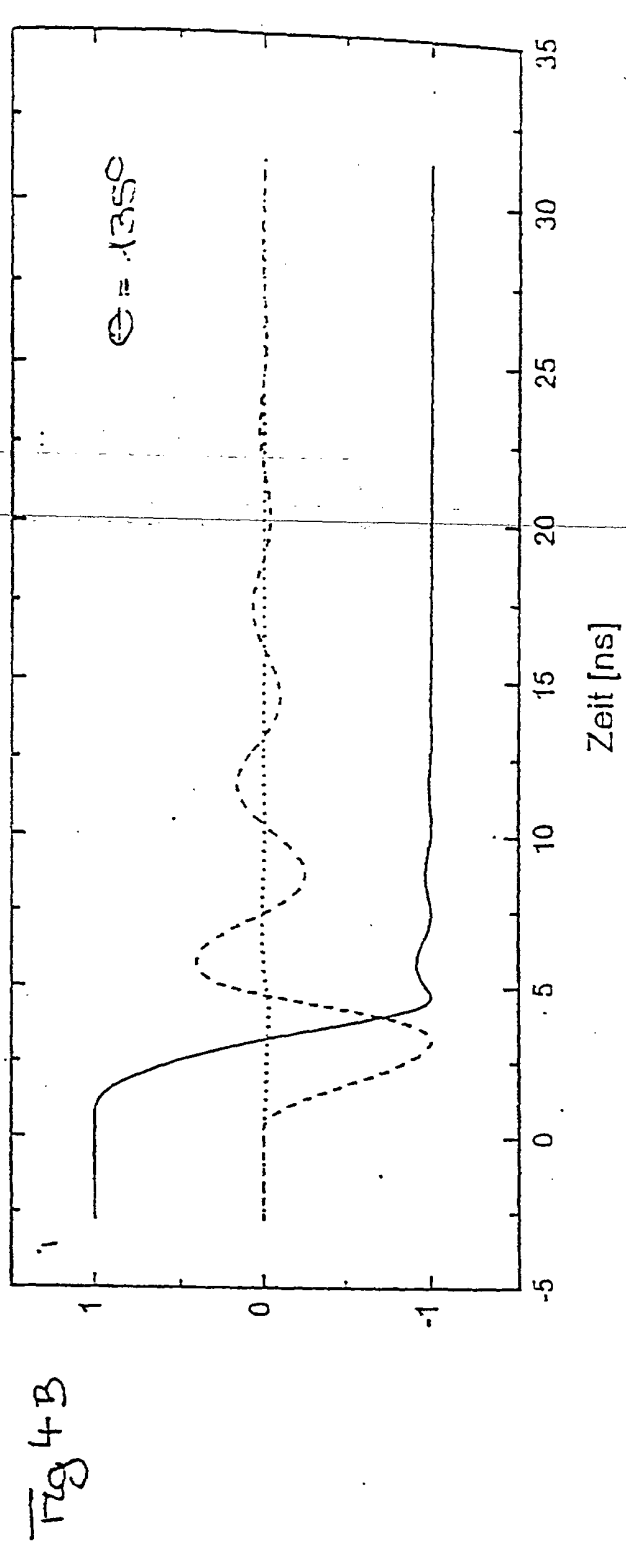
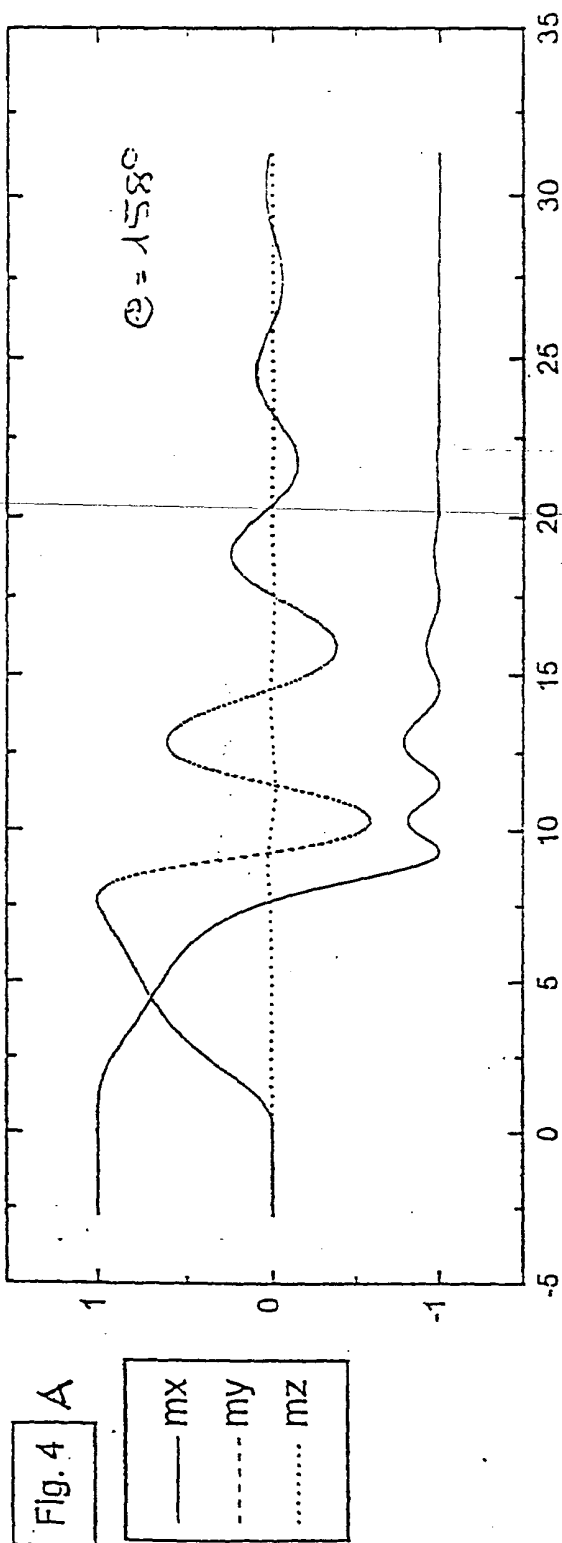


Fig. 5 A

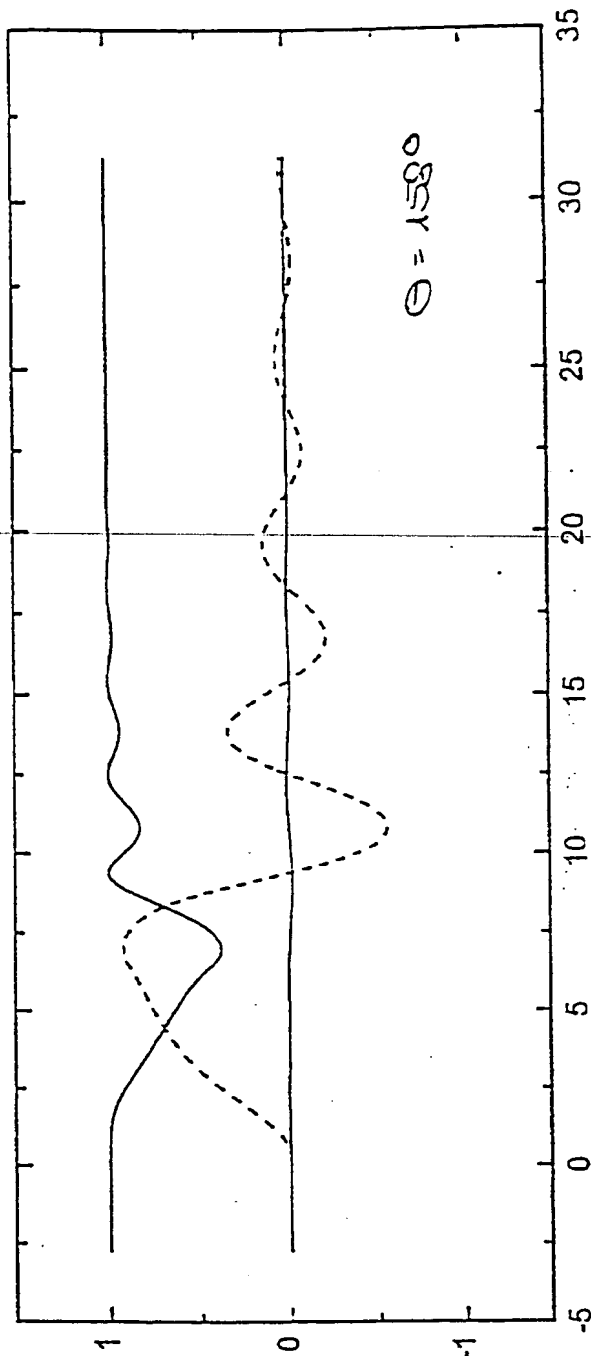
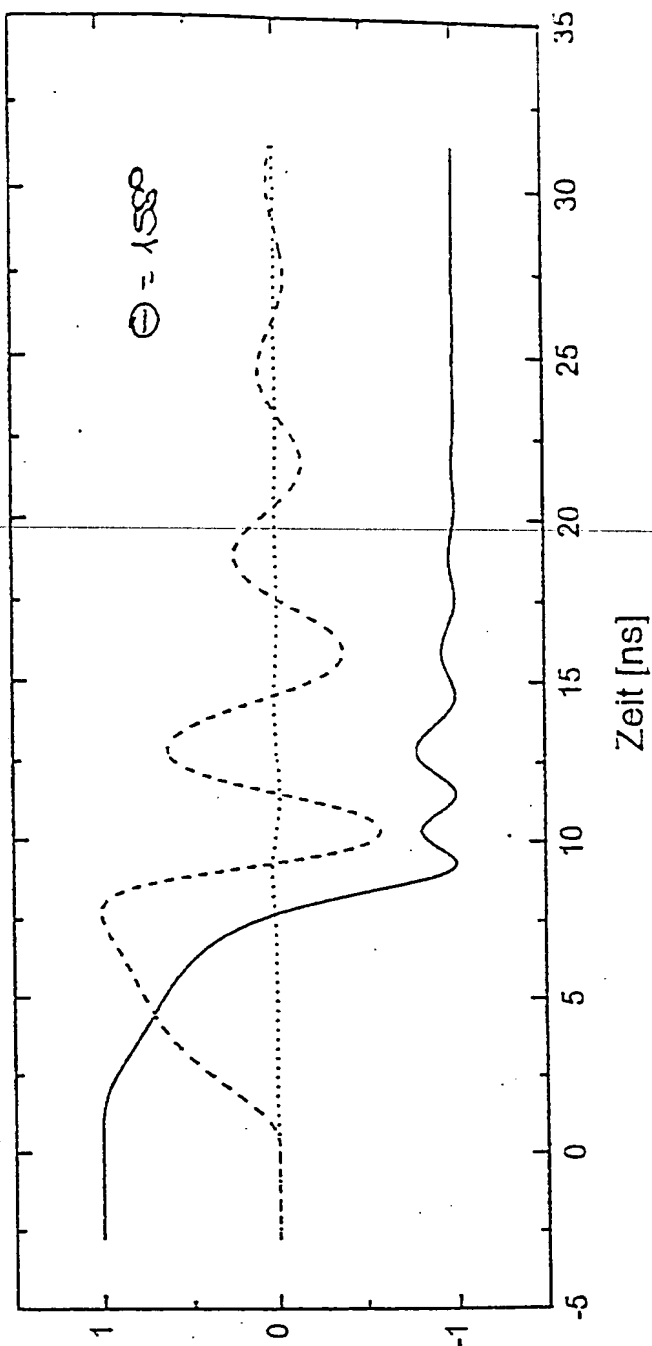
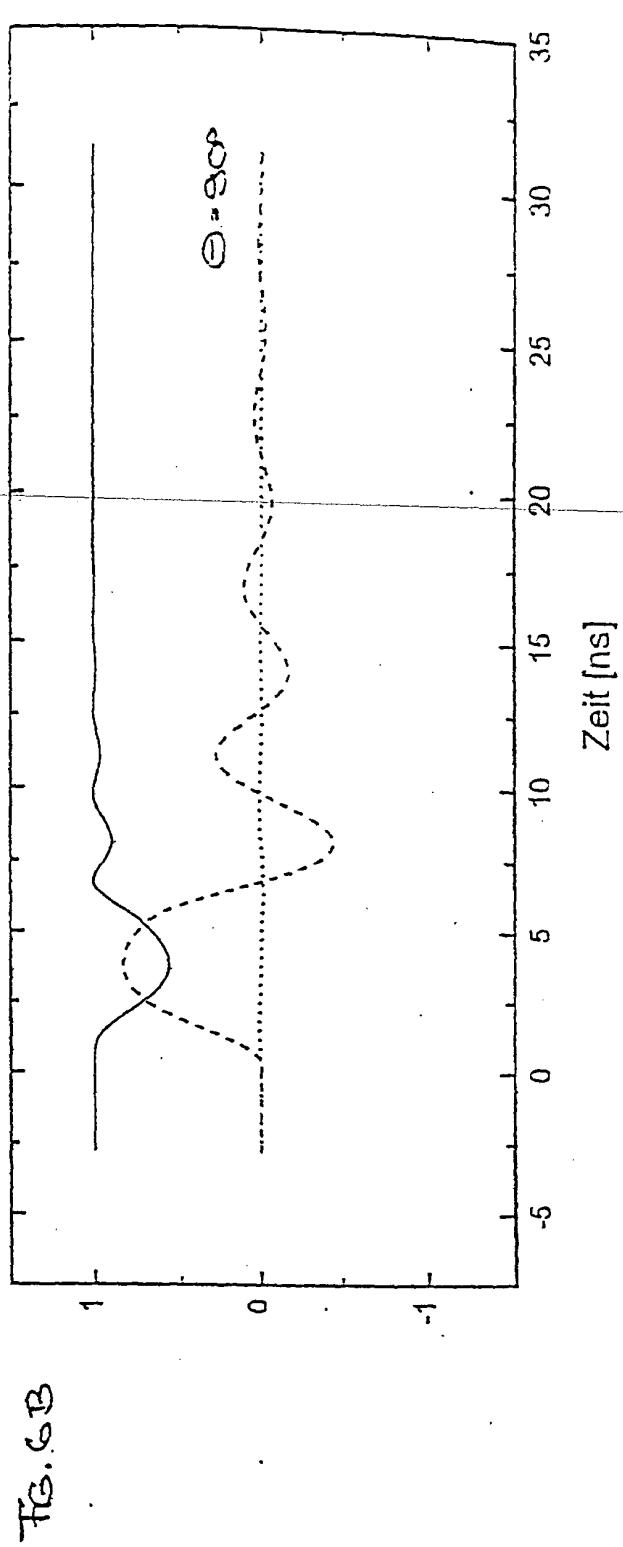
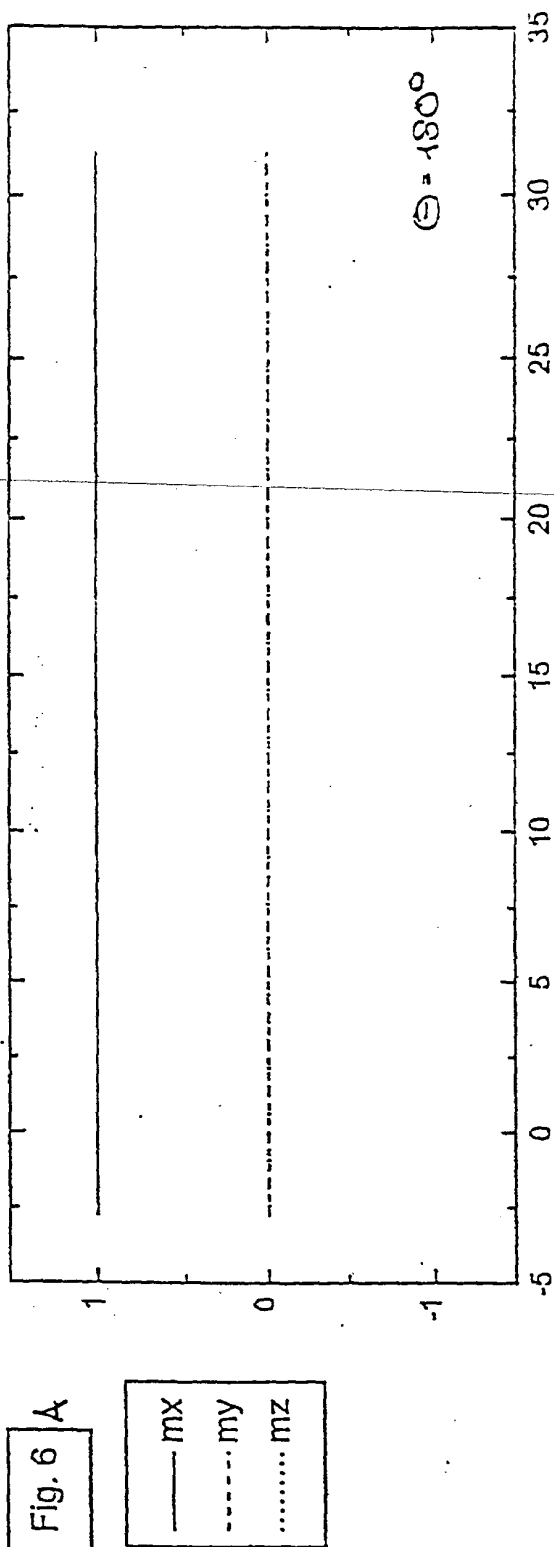


Fig. 5B





**No English title available.**

Patent Number: DE19823826  
Publication date: 1999-12-02  
Inventor(s): STAMPS ROBERT LEON (AU); HILLEBRANDS BURKHARD (DE)  
Applicant(s): HILLEBRANDS BURKHARD (DE)  
Requested Patent: DE19823826  
Application Number: DE19981023826 19980528  
Priority Number(s): DE19981023826 19980528  
IPC Classification: G11C11/14  
EC Classification: G11C11/15, G11C11/16  
Equivalents: AU4501599, EP1082725 (WO9962069), B1, JP2002517083T, WO9962069

**Abstract**

The invention relates to a digital magnetic memory cell device for read and/or write operations, comprising: a first and a second magnetic layer whose magnetization is oriented parallel or antiparallel for the storage of digital information, whereby at least one of the magnetic layers presents a magnetic anisotropy; an intermediate layer between the first and second magnetic layer and at least two intersecting printed conductors for read and write currents; means for switching the magnetization of at least one of the magnetic layers from a parallel to an antiparallel orientation and vice versa, whereby said switching means have devices for generating currents and/or current pulses on a first and a second printed conductor of the at least two intersecting printed conductors. The invention is characterized in that the printed conductors intersect at a defined angle  $\beta$  so that current pulses having a pulse duration  $< 10$  ns make it possible to switch the magnetization fully and securely from a parallel to an antiparallel orientation and vice versa in the area of intersection in the memory cell device.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

ABSTRACT

SS082 AL...  
0011-2-1100 JET

---

DOCKET NO: LUH-12720  
SERIAL NO: \_\_\_\_\_  
APPLICANT: Martin Freitag et al  
LERNER AND GREENBERG P.A.  
P.O. BOX 2480  
HOLLYWOOD, FLORIDA 33022  
TEL. (954) 925-1100